

Joonas Wirzenius

Koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankintaprosessi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto, LVI

Opinnäytetyö

29.11.2016

Tekijä Otsikko	Joonas Wirzenius Koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankintaprosessi
Sivumäärä Aika	35 sivua + 2 liitettä 29.11.2016
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Jyrki Viranko LVI-projektipäällikkö Marek Daszynski
<p>Opinnäytetyön aiheeksi valittiin koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankintaprosessi. Työ toteutettiin toimeksiantona SRV Rakennus Oy:lle, ja sen tavoitteena on toimia ohjeena ja työkaluna konehankintojen tukena.</p> <p>Tässä työssä käytettiin laadullisen tutkimuksen menetelmiä aineiston hankinnassa. Teoreettisena aineistona on käytetty alan ammattikirjallisuutta ja ohjeita. Näiden aineistojen pohjalta on rakennettu prosessimuotoinen ohje hankintatoimen läpivientiin.</p> <p>Opinnäytetyössä kuvataan koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankintaprosessi suunnittelusta siihen hetkeen, kun koneet toimitetaan työmaalle. Työssä pohditaan suunnittelun ja suunnittelun ohjauksen merkitystä onnistuneiden konehankintojen kannalta sekä koneiden hyväksyttämisen prosessin tuomia haasteita ja velvoitteita. Työssä halutaan korostaa myös hankinta-aikataulun ja hankintasuunnitelman merkitystä onnistuneen hankintaprosessin läpiviennissä.</p> <p>Työssä kuvataan ilmankäsittelykoneiden rakenne ja koneiden modulaaristen osien merkitys toimivan järjestelmäkokonaisuuden kannalta. Koneiden tekniset suoritusarvot ja ominaisuudet ovat tässä suhteessa ensiarvoisen tärkeitä tarkastelun kohteita. Erityisesti on korostettu koneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta sekä ominaissähkötehoa (SFP-lukua), jotka ovat kiristyneet uusien energiamääräysten myötä ja tulevat kiristymään entisestään lähivuosien aikana.</p> <p>Hankintaprosessin tärkeimpänä ja ehkä haastavimpana osana on varmistaa hankittavien tulo- ja poistoilmakoneiden vastaavuus suunnitelmiin. Opinnäytetyön tuotteena laadittiin excel-pohjainen vertailutyökalu, jolla voidaan tulevaisuudessa vertailla koneita ja niiden ominaisuuksia tehokkaasti. Vertailutyökalua tullaan jatkossa kehittämään entisestään, jotta voidaan pysyä ajan hermolla jatkuvasti kehittyvässä ja tiukentuvassa lainsäädännössä ja kilpailussa.</p>	
Avainsanat	hankintaprosessi, tulo- ja poistoilmakone, koneiden vertailu

Author Title	Joonas Wirzenius The acquisition process of air handling units
Number of Pages Date	35 pages + 2 appendices 29 November 2016
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Jyrki Viranko, Principal Lecturer Marek Daszynski, Project Manager
<p>The Bachelor's thesis aimed at creating a guide and a tool for the acquisition of air-handling units. To do this, a qualitative research approach was adopted. In addition, empirical data was collected by a literary view. The theoretical framework was based on professional literature about construction guidelines and manuals. Information about the subject was also gathered from colleagues. The outcome of thesis was a process-based guide through the acquisition process.</p> <p>During the final year project, an Excel-based tool was created for the comparison of machines and their features. The comparison tool will be developed further to ensure that it stays useful despite stricter legislation and increasing competition that are to be expected. The thesis will be used as orientation material for the acquisition of air handling units.</p> <p>There are many important steps in the acquisition process. Each one must be handled with care to achieve a functional integrated system. With the thesis it is possible to do the acquisition more carefully without wasting time.</p>	
Keywords	Acquisition process, air-handling units, comparing of machines

Sisällys

Lyhenteet, käsitteet ja standardit

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
3	Hankinnan eteneminen	3
3.1	Suunnitteluvaihe	3
3.1.1	Suunnittelun ohjaus	4
3.1.2	Suunnitelma-asiakirjat	5
3.2	Hankinta-aikataulu	7
3.3	Koneiden hankinta	8
3.4	Hyväksyttäminen rakennuttajalla	9
4	Ilmankäsittelykoneen rakenne	11
4.1	Sulkupelti	12
4.2	Suodatinosa	12
4.3	Poistoilman lämmöntalteenotto	13
4.3.1	Pyörivä lämmönsiirrin	13
4.3.2	Levylämmönsiirrin, ristivirta	14
4.3.3	Levylämmönsiirrin, vastavirta	14
4.3.4	Nestekiertoinen lämmöntalteenotto	15
4.4	Nestekiertoinen lämmitys- ja jäähdytyspatteri	16
4.4.1	Lämmityspatterit	16
4.4.2	Jäähdytyspatteri	16
4.5	Puhallinosa	17
4.5.1	Oikosulkumoottori (IEC)	17
4.5.2	EC-moottori	17
4.5.3	PM-moottori	18
4.6	Äänenvaimennus	18
4.7	Koneen vaatimukset	18
4.8	Ilmanvaihtokonehuoneen- ja ilmanvaihtokoneen fyysinen mitoitus	19
5	Ilmanvaihtokoneen tekniset ominaisuudet	21

5.1	Ilmavirrat ja paine-erot	21
5.2	Otsapintanopeus	22
5.3	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO)	22
5.3.1	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	23
5.3.2	Energiaselvitys	24
5.4	Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP	25
5.5	Äänitasot	28
5.6	Sähköistys ja ohjaus	29
6	Ekologisen suunnittelun vaatimukset	30
7	Yhteenveto	33
8	Excel-vertailutyökalun käyttö	34
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1. Tarjouspyyntömalli	
	Liite 2. Excel-vertailutyökalu	

Lyhenteet, käsitteet ja standardit

°C	Celsiusaste. Lämpötilan yksikkö.
dB	Desibeli. Äänen voimakkuuden yksikkö.
IV	Ilmanvaihto.
kW	Kilowatti. Tehon yksikkö.
latentti lämpö	Lämpöenergia, joka on sitoutunut ilmankosteuteen.
LTO	Lämmöntalteenotto.
m^3/s	Kuutiometriä sekunnissa. Tilavuusvirta.
Pa	Pascal. Paineen yksikkö.
SEC	Specific Energy Consumption. Ominaisenergiakulutus ($kWh/a, m^2$).
SFP	Specific Fan Power. Ominais sähköteho. $kW/(m^3/s)$.
SFS 5358	Ilmastointi. Keskusilmastointikone. Vaatimukset ja testaus.
SFS-EN 1886	Keskusilmastointikoneet. Mekaaniset ominaisuudet.
SFS-EN 13053	Ventilation for buildings. Air handling units. Rating and performance for units, components and sections.
SFS-EN 779:2012	Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance.
tuntuva lämpö	Vallitseva lämpötila, joka voidaan todentaa lämpömittarilla.

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty SRV Rakennus Oy:lle tukemaan ja ohjeistamaan koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankintaa. Yrityksen sisällä käytyjen keskustelujen perusteella on havaittu, että olisi syytä selvittää keinoja, joilla hankintoja voidaan tarkemmin kontrolloida ja kehittää. Yhä tiukentuvassa kilpailussa ja rakentamisajan lyhentyessä ei ole varaa tehdä virheitä näin isoissa hankintakokonaisuuksissa. Näiden lähtökohtien pohjalta olen kirjoittanut opinnäytetyöni ja laatinut excel-pohjaisen vertailutyökalun.

Tulo- ja poistoilmakoneet muodostavat usein kustannuksiltaan rakennushankkeen suurimman teknisen hankintakokonaisuuden. Opinnäytetyössä ei suoranaisesti haeta keinoja kustannussäästöihin, vaan sen tarkoitus on toimia työkaluna, jolla varmistetaan toimivan järjestelmäkokonaisuuden hankinta. Nykyrakentamisessa on tyypillistä hakea rakentamisaikaisia kustannussäästöjä valitsemalla sellaisia tuotteita, jotka ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia, kuin suunnitelmissa määritetyt tuotteet. Tämä opinnäytetyö toimii ohjeena koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden hankinnassa, ja sen avulla varmistetaan suunnitelmienmukaisuuden täyttyminen koneiden valinnassa.

Opinnäytetyö on kokonaisuudessaan tiivis tietopaketti, jossa kuvataan hankintaprosessin kulku ja luonne sekä koneiden fyysiset- ja tekniset ominaisuudet. Tätä työtä voidaan soveltaa sekä omissa hankinnoissa, että aliurakoitsijan hankintaesityksen tarkastamisessa. Opinnäytetyö antaa lukijalle käsityksen koteloitujen tulo- ja poistoilmakoneiden rakenteesta ja sen modulaaristen osien merkityksestä toimivassa ilmapölyjärjestelmässä.

Työssä on tulkittu alan kirjallisuutta sekä Rakennustietosäätiön LVI-ohjekortteja. Olen myös tuonut työhön omia kokemuksiani ja näkemyksiäni, joiden oikeellisuus on varmistettu keskustelemalla yrityksen sisällä alan ammattilaisten kanssa.

2 Yritysesittely

Opinnäytetyön toimeksiantaja on SRV Rakennus Oy. SRV Rakennus Oy on Suomen johtava projektinjohtourakoitsija, joka kehittää ja rakentaa liike- ja toimitilojen, asuntoja, sekä logistiikka- ja infrarakentamiskohteita. Yhtiö toimii Suomen lisäksi Virossa ja Venäjällä.

SRV Rakennus on osa konsernia, jonka emoyhtiönä on SRV Yhtiöt Oyj, joka vastaa konsernin johtamisen, rahoituksen, talouden ja hallinnon tehtävistä. SRV Yhtiöt Oyj on vuonna 1987 perustettu pörssiyhtiö, jonka liikevaihto on noin 720 miljoonaa euroa. Konsernissa työskentelee noin 1 000 ihmistä.

SRV Rakennus Oy toimii Suomessa Helsingin metropolialueella, sekä kasvukeskuksissa Tampereella, Turussa, Jyväskylässä, Joensuussa ja Oulussa. SRV vastaa asiakaslähteisesti hankkeiden rakentamisesta, kaupallistamista ja kehittämisestä. Yhtiön toimintamalli perustuu innovatiiviseen hankekehitykseen ja tehokkaaseen projektinjohtototeutukseen. SRV Malli varmistaa läpinäkyvän yhteistyön eri osapuolten välillä sekä laadukkaan lopputuloksen. [1.]

3 Hankinnan eteneminen

3.1 Suunnitteluvaihe

Rakennuksen ja sen eri tilojen ilmastointijärjestelmä valitaan hankesuunnitteluvaiheessa tai luonnossuunnitteluvaiheessa yhteistyössä rakennuttajan, käyttäjän, LVI-suunnittelijan ja arkkitehdin kanssa. Ilmastointijärjestelmä valitaan kohteen käyttötarkoituksen-, vallitsevien olosuhteiden- ja kustannuksiin liittyvien tekijöiden perusteella [2, s. 41].

Ilmankäsittelykoneiden suunnittelussa tarvitaan tarkat suunnitteluarvot koneiden tehomitoitukseen. Tehomitoitus on sidottava sisäilmaston lisäksi myös säätietoihin, joilla laskenta suoritetaan. Sisäilmaston suunnitteluarvojen valinta on tärkeässä osassa suunnitteluprosessia. Vaikka hyvän sisäilmaston laatutekijät tunnetaankin tarkkaan, ei silti ole aina mahdollista tehdä investointikustannusten vuoksi parasta mahdollista toteutusta, vaan on tingittävä lopputuloksen laadusta. [2, s. 13.]

Hyvien sisäolosuhteiden saavuttamiseksi on tärkeää määrittää olosuhteisiin liittyvät tavoitteet. Sisäilmaluokitus 2008 jakaa sisäilmaston kolmeen laatuluokkaan, joista S1 on laadultaan paras, S2 keskimäinen ja S3 laadultaan huonoin. Valitun sisäilmaluokan perusteella tilojen lämpöolot ja akustiset ominaisuudet ohjataan tavoitearvoihin. Luokituksen avulla valitaan myös rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokat P1 tai P2. [2, s. 298.] Taulukossa 1 on esitetty Sisäilmaluokitus 2008:n vaatimukset ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokille P1 ja P2.

Taulukko 1. Kriteerit ilmanvaihtojärjestelmien puhtausluokille [3, s. 15].

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokan P1 vaatimukset:

- Tuloilmakanavat ja kanavaosat on tehty puhtausluokitelluista ilmanvaihtotuotteista tai työmaalla vastaavaan tasoon puhdistetuista muista tuotteista.
- Tiivistämateriaaleina käytetään rakennusmateriaalien päästöluokkaan M1 tai M2 luokiteltuja tai muuten emissioiltaan alhaisiksi tunnettuja materiaaleja.
- Luovutusvalmiin ilmanvaihtojärjestelmän sisäpinnan pölykertymän keskiarvo saa olla enintään 0,7 g/m² suodatinmenetelmällä (Pasanen et. al. 1999) mitattuna tai visuaalisesti arvioituna (Narvanne 2001).
- Laitoksessa ei käytetä palautusilmaa lukuun ottamatta vain yhtä tilaa tai asuntoa palvelevia ilmanvaihtokoneita.
- Tuloilmassa ei saa käyttää hajusteita.
- Ilmanvaihtokoneiden tuloilmapuolelle asennetaan kaksiportainen suodatus, jonka erotusaste vastaa taulukon 2.4.5 vaatimuksia.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokan P2 vaatimukset:

- Tuloilmakanavat on tehty puhtausluokitelluista ilmanvaihtotuotteista tai työmaalla vastaavaan tasoon puhdistetuista muista tuotteista.
- Luovutusvalmiin ilmanvaihtojärjestelmän sisäpinnan pölykertymän keskiarvo saa olla enintään 2,5 g/m² suodatinmenetelmällä (Pasanen et. al. 1999) mitattuna tai visuaalisesti arvioituna (Narvanne 2001).
- Laitoksessa saa käyttää puhtaudeltaan samanarvoisten tilojen poistoilmaa palautusilmana. Palautusilma on suodatettava tuloilman suodatusta vastaavalla puhtausluokitellulla suodattimella.
- Tuloilmassa ei saa käyttää hajusteita.
- Ilmanvaihtokoneiden tuloilmapuolelle asennetaan kaksiportainen suodatus, jonka erotusaste vastaa taulukon 2.4.5 vaatimuksia.

Suunnittelu- ja mitoitusohjelmilla pystytään laskemaan painehäviöt ja mallintamaan kanavistot ja oheislaitteet tarkasti. Teknisten järjestelmien asennus yhteen sovitettua tietomallia apuna käyttäen mahdollistaa suunnitelmien mukaisen asentamisen. Tämän takia suunnitteluvaiheen risteilytarkastelujen merkitys on suuri, erityisesti ahtaissa ja haastavissa paikoissa.

3.1.1 Suunnittelun ohjaus

Suunnittelun ohjaus on tärkeässä roolissa laadukkaan järjestelmän aikaansaamiseksi. Suunnittelun ohjausta tekee pääurakoitsija yhdessä rakennuttajan edustajan kanssa, ja sen tavoitteena on saavuttaa järjestelmäkokonaisuus, joka vastaa loppukäyttäjän tarpeita. Sen tavoitteena on myös kustannusten hallinta ja luoda pohja, joka antaa edellytyksen toteutussuunnitelmien aikataulussa pysymiseen.

Suunnittelun ohjaus aloitetaan jo ennen suunnittelijoiden valintaa kartoittamalla rakennuttajan kanssa halutut olosuhteet, joiden perusteella tehdään projektin kustannusarvio. Lähtötietojen kartoituksen perusteella voidaan valita suunnittelijat, jotka sopivat juuri kyseisen projektin luonteeseen. Kun suunnittelu on käynnissä, suunnittelun ohjauksen tehtävänä on informoida suunnittelijoita mahdollisista muutoksista, valvoa suunnittelun aikataulua ja toteutuskustannuksia sekä varmistaa suunnitelmien yhteensopivuus ja valvoa että suunnitelmat vastaavat sovittua.

Suunnitelluilla järjestelmillä pitää saavuttaa tilaajan edellyttämät olosuhteet ja ominaisuudet, ja niiden täytyy toteuttaa lait ja määräykset. Haluttuihin olosuhteisiin päästään helposti mitoittamalla järjestelmät varman päälle ja valitsemalla sen hetken parhaat ja kalleimmat laitteet. Samaan lopputulokseen on mahdollista päästä kustannustehokkaammin, valitsemalla juuri kyseiseen projektiin sopivat järjestelmät ja laitteet oikein mitoitettuna. Tämän takia kustannusohjaus on iso osa suunnittelun ohjausta.

Suunnittelun ja suunnittelun ohjauksen tärkeänä tehtävänä on huomioida konehuoneiden sijoitus niiden palvelualueeseen nähden. Kustannusten ja toimivan järjestelmän kannalta on oleellista, että konehuoneet on ryhmitetty asennusteknisestä näkökulmasta järkevästi, suhteessa kuiluihin ja muihin asennuksille varattuihin tiloihin sekä palvelualueisiin. Lyhyemmillä kanavavedoilla säästetään asennuskustannuksissa sekä ilmanvaihtokoneelta vaaditaan vähemmän paineenkorotusta, mikä voi mahdollistaa pienemmän koneen hankinnan tai hyötysuhteeltaan paremman puhaltimen valinnan.

Suunnittelun ohjauksen tärkeimpiin osa-alueisiin kuuluu avoin yhteistyö ja tietojen vaihtaminen eri osapuolin kesken. Avoimen yhteistyön avulla saavutetaan parempi ja kaikkia osapuolia tyydyttävä lopputulos. Pääurakoitsijan rooli on pitkälti asiakkaan palvelemista, minkä vuoksi on tärkeää kuunnella ja toteuttaa asiakkaan vaatimukset ja toiveet.

3.1.2 Suunnitelma-asiakirjat

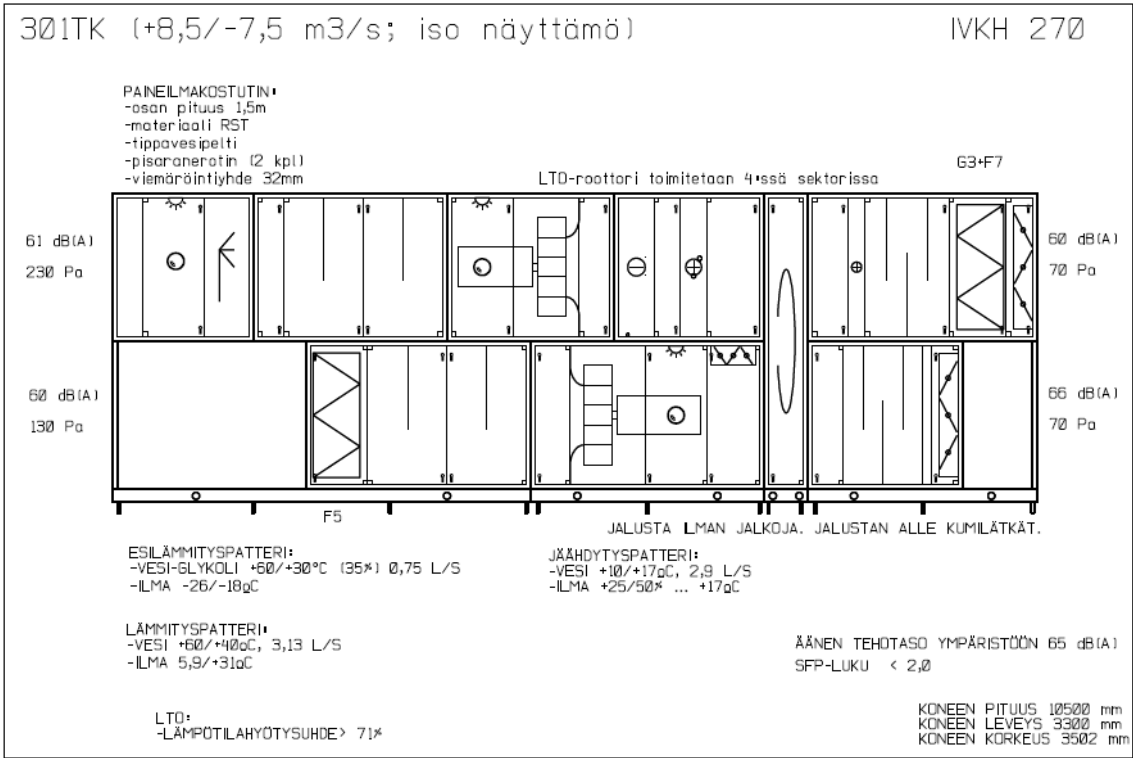
Suunnitteluasiakirjoissa on usein käytetty määrittelyä ”vastaava” kone tai laite. Suunnitelmissa käytetään usein jonkin valmistajan esimerkkituotetta, joka täyttää kaikki kohteen erityispiirteet ja -vaatimukset. Suunnitelmissa esitetyt tuotteet ovat vähimmäisvaatimus rakennuttaja edellyttämästä laatutasosta ja ominaisuuksista. Urakoitsijan on mahdollista esittää vastaavaa laitteita hankittavaksi, mikäli se on teknisesti, toiminnallisesti sekä käyttöön ja huoltoon liittyviltä ominaisuuksiltaan suunnitellun koneen mukainen. Urakoitsijan on kirjallisesti esitettävä vertailutiedot vastaavuuden todentamiseksi. Laitteen vaihdossa on huomioitava ja saatava hyväksyntä muilta urakoitsijoilta, mikäli se vaikuttaa heidän velvoitteisiinsa teknisesti tai kustannuksellisesti. Vaihdos voi vaikuttaa esimerkiksi rakennusautomaatio- tai sähköurakkaan.

Ilmankäsittelykoneiden hankinnan kannalta tarvittavia suunnitelma-asiakirjoja ovat LVI-työselostus, LVI-laiteluettelo, ilmanvaihtokoneiden huoltopuolen leikkauskuvat ja ilmanvaihdon pohjapiirustukset. Hankintojen kannalta on myös tärkeää tarkistaa 3D-mallinnukset ilmanvaihtokonehuoneista, jotta tilantarve-edellytykset niissä täyttyvät.

Taulukossa 2 on esitetty esimerkki LVI-laiteluettelosta, jossa on esitetty koneen positio ja vaikutusalue sekä sen tuottama ilmamäärä ja paine-ero. Lisäksi kojeluettelosta saa tiedon rakennusautomaatio- ja sähköliitännöihin sekä toimintoihin. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki ilmanvaihtokoneiden huoltopuolen leikkauksesta.

Taulukko 2. LVI-laiteluettelo eräästä kohteesta

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
TUNNUS	LAITE	VAIKUTUSALUE	SIJAINTI	ILMA MÄÄRÄ [m³/s]	KOKO PAINE arvio [Pa]	ILMAN LTI- Tu	Ts	h	LÄMM TEHO [kW]	JÄÄH TEHO [kW]	NESTEEN LT- Tm	Tp	NESTE VIRTA [l/s]	PAINE [kPa]	ARVIOITU SAHKÖ- TEHO[W]	RK TUNN.	VAK TUNN. KAA- VIO	HUOM	REV.
303LT002	Pyörä-LTO			5,80		-26	7								0,2	IRK14	VMK4	4303	
303LP04	Lämmityspatteri			5,80		0	22		153		60	40					VMK4	4303	
303P04	Pumppu										60	40	1,82	30	0,2	IRK14	VMK4	4303	
303TV04	Moottoriventili										70	40	1,22	25			VMK4	4303	
303LP05	Jäähdytyspatteri			5,80						130	9	14					VMK4	4303	
303TV05	Moottoriventili										9	14	6,19	25			VMK4	4303	
303PF01	Poistolämpuhalin			5,80	800										7,7		VMK4	4303	
303SC21	Taajuusmuuttaja														7,7	IRK14	VMK4	4303	
303S19	Poistosuodatin																VMK4	4303	EUS
304TK (3TK)	Tuulimakone	Kodin 1. etuosa	IV-konehuone 04, vesikatto																
304TF01	Tuulilämpuhalin			5,80	1000										9,7		SLK 304TK	4304	Nykyinen kone
304SC08	Taajuusmuuttaja														9,7	IRK14	SLK 304TK	4304	
304S01	Tuulosuodatin																SLK 304TK	4304	EU7
304FG03	Kierroinappeli																SLK 304TK	4304	
304LTO02	Pyörä-LTO			5,80		-26	7								0,2	IRK14	SLK 304TK	4304	
304LP04	Lämmityspatteri			5,80		0	22		153		60	40					SLK 304TK	4304	
304P04	Pumppu										60	40	1,82	30	0,2	IRK14	SLK 304TK	4304	
304TV04	Moottoriventili										70	40	1,22	25			SLK 304TK	4304	
304LP05	Jäähdytyspatteri			5,80						130	9	14					SLK 304TK	4304	
304TV05	Moottoriventili										9	14	6,19	25			SLK 304TK	4304	
304PF01	Poistolämpuhalin			5,80	800										7,7		SLK 304TK	4304	
304SC21	Taajuusmuuttaja														7,7	IRK14	SLK 304TK	4304	
304S19	Poistosuodatin																SLK 304TK	4304	EUS
305TK (4TK)	Tuulimakone	Hesburger	IV-konehuone 05, vesikatto																
305TF01	Tuulilämpuhalin			2,20	1000										3,7		SLK 305TK	4305	Nykyinen kone
305SC08	Taajuusmuuttaja														3,7	IRK16	SLK 305TK	4305	B
305S01	Tuulosuodatin																SLK 305TK	4305	EU7
305LTO02	LTO-kuulo			2,20		-26	-10										SLK 305TK	4305	
305LP04	Lämmityspatteri			2,20		-15	22		98		60	40					SLK 305TK	4305	B
305P04	Pumppu										60	40	1,16	30	0,2	IRK16	SLK 305TK	4305	B
305TV04	Moottoriventili										70	40	0,78	25			SLK 305TK	4305	
305LP12.1	Jäähdytyspatteri	Ravintolasali		1,50				18		32	9	14					SLK 305TK	4305	B
305TV12.1	Moottoriventili										9	14	1,54	25			SLK 305TK	4305	
305LP12.2	Jäähdytyspatteri	Keittiö		0,70				18		15	9	14					SLK 305TK	4305	B
305TV12.2	Moottoriventili										9	14	0,72	25			SLK 305TK	4305	
305PF01	Poistolämpuhalin			0,70	800										0,9		SLK 305TK	4305	B
305SC21.1	Taajuusmuuttaja														0,9	IRK16	SLK 305TK	4305	
305S19	Poistosuodatin																SLK 305TK	4305	EUS
305PF02	Poistolämpuhalin	Ravintolasali		1,50	300										0,8		SLK 305TK	4305	B
305SC21.2	Taajuusmuuttaja														0,8	IRK16	SLK 305TK	4305	



Kuva 1. Ilmanvaihdon huoltopuolen leikkauskuva eräästä kohteesta

3.2 Hankinta-aikataulu

Rakennushankkeen aikatauluvastuu kuuluu yleensä pääurakoitsijalle, joka johtaa ja valvoo kokonaisuutta siten, että kaikkien osapuolien velvoitteet tulevat ajoissa suoritetuksi. Sivu- ja aliurakoitsijat sovittavat omat työsuorituksensa pääurakoitsijan johdolla laadittuun hankkeen kokonaisaikatauluun. [2, s. 377.]

Hankintasuunnitelma on tärkeä osa hallittua projektinhoitoa. Se laaditaan työmaan yleis-aikataulun pohjalta ohjaamaan ilmanvaihtojärjestelmien hankintaa. Toimivassa ja tarkoituksenmukaisessa hankintasuunnitelmassa tulee huomioida ainakin

- yksittäisen koneen tai laitteen toimituspäivä työmaalle
- kunkin tarvikkeen, osan tai laitekokonaisuuden valmistusaika
- hyväksynnän vaatima aika
- hankintaprosessin viemä aika.

Hankintasuunnitelman tarkoituksena on ajoittaa hankinnat ja tavarantoimitukset oikea aikaisesti työmaalle. Huolellisella suunnittelulla ja aikatalutuksella hallitaan työmaan prosessi ja kustannuskehitys. Ilmanvaihtokoneet ovat usein kustannuksiltaan yksi suurimmista hankintakokonaisuuksista työmaalla. Koneiden hankinta täytyy myös usein saada ensimmäisenä prosessiin pitkien valmistus- ja toimitusaikojen takia.

Ilmanvaihtokoneiden hankinnan- ja toimituksen ajankohtaan vaikuttaa monet tekijät työmaalla. Toimituksen ajoituksessa tulee huomioida rakennustöiden eteneminen, jotta ilmanvaihtokonehuoneet ovat rakennusteknisesti siinä kunnossa, että koneet voidaan asentaa paikoilleen. LVI-työselostuksessa on myös määritetty puhtausluokitus P1 tai P2 ilmanvaihtokonehuoneille. Vaaditun puhtausluokan tulee toteutua siitä hetkestä, kun koneet sinne toimitetaan, ja puhtausluokan tulee pysyä yllä koko rakennusprojektin ajan. Toinen kriittinen tekijä aikataulun kannalta on maksueriin sidotut välitavoitteet. Tyypillisiä välitavoitteita ovat esimerkiksi, jonkun konehuoneen tulo- ja poistoilmakoneet tulee olla asennettu tai toimintakoevalmiuden edellytykset täyttyvät. Koneiden asennukselle ja karnavakytkennöille on osattava varata riittävästi aikaa, jotta jokaisella osapuolella on mahdollisuus saattaa työnsä omalta osaltaan vaaditulle valmiusasteelle.

Toimitusajankohdan kannalta on mietittävä myös logistiset edellytykset. Työmaan tulee olla siinä kunnossa, että mahdolliset nostot voidaan suorittaa sekä haalausreitit mahdollistavat koneiden toimittamisen konehuoneeseen asti. Konehuoneiden lattiapintojen täytyy olla valmiit, ja tilat tulee olla varustettu vaadituilla lattiakaivoilla ennen koneiden paikalleen asentamista. Reikätarpeet on myös huomioitava etukäteen, ja mahdollisuuksien mukaan tulee tehdä kaikki tarvittavat läpivientireiät ennen koneiden toimitusta, jotta voidaan täyttää konehuoneiden puhtaustaso. Mikäli konehuoneet tai haalausreitit eivät ole vaadittavassa kunnossa, on välivarastointi suunniteltava niin, että se ei häiritse muita työvaiheita ja puhtaustaso pystytään varastointitiloissakin täyttämään. [2, s. 380–381.]

3.3 Koneiden hankinta

Viimeistään hankintojen yhteydessä on tarkistettava, että LVI-työselostus ei ole ristiriidassa muiden suunnitelma-asiakirjojen kanssa. Hankinnassa tulee käydä kaikki sitä koskevat asiakirjat läpi ja tarkistaa kaikkien komponenttien oikeellisuus ja yhteensopivuus. On myös tärkeää huomioida hankintarajat, esimerkiksi kuuluuko poistopelti konepakettiin vai onko se ilmanvaihtourakan erillisenä hankintana.

Kun suunnitelma-asiakirjat on tarkistettu ja voidaan olla varmoja, että ne ovat toteuttamiskelpoiset, voidaan harkita, miltä eri laitetoimittajilta pyydetään tarjoukset kyseisistä järjestelmistä. Tarjouspyynnöllä välitetään toimittajalle ja aliurakoitsijalle omat sekä rakennuttajan ehdot ja laatuvaatimukset. Tarjouspyynnöissä käytetään SRV Rakennus Oy:n asiakirjamallia, joka on esitetty liitteessä 1. Tarjouspyyntöjen lähettämisessä on ensiarvoisen tärkeää tarkistaa, että kaikki tarvittavat liitteet ovat mukana tarjouspyynnössä. Saatujen tarjousten huolellisella ja tarkalla käsittelyllä ja vertailulla päästään tavoitteen mukaiseen järjestelmäkokonaisuuteen ja budjettiin. Tarjousten vertailussa ei voida tuijottaa pelkästään kauppahintaa. Investointikustannusten lisäksi on tarkasteltava koneiden vuosihyötysuhteita ja elinkaarikustannuksia.

Ilmanvaihdon energiakustannukset ovat merkittävä tekijä rakennuksen käyttökustannusten muodostumisessa. Energiakustannuksiin voidaan vaikuttaa ilmanvaihdon laite- ja järjestelmäratkaisuilla sekä suunnitteluratkaisuilla.

Ilmanvaihtokoneen valinnassa ja hankinnassa on kiinnitettävä huomiota sen suoritusarvojen lisäksi koneen elinkaarikustannuksiin. Halvin kone, joka juuri ja juuri täyttää tekniset suoritusarvovaatimukset, ei ole yleensä vuotuisilta kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Suurella otsapintanopeudella voidaan saada konekokoa pienemmäksi, mutta samalla nousee painehäviö ja energiankulutus. Usein pienempi konevaihtoehto tuottaa kanavistoon suuremman äänitehon ja vaatii enemmän äänen vaimennusta. Koneen valinnassa on tarkasteltava kokonaistaloudellisuutta ja määriteltävä koneen elinkaariaikaiset kustannukset. Elinkaarikustannusten määrittelyyn on käytettävissä laskentaohjelmia, joilla voidaan helposti tarkastella muuttujien vaikutukset elinkaarikustannuksiin. Investointi- ja käyttökustannukset saadaan yhteismitalliseksi muuttamalla ne vastaamaan nykyarvoa tai annuiteettia. [2, s. 81–82.]

Tulo- ja poistoilmakoneet muodostavat usein kustannuksiltaan rakennushankkeen suurimman teknisen hankintakokonaisuuden. Näin suurissa hankinnoissa ei ole varaa virheisiin, joten koneiden ja tarjousten vertailussa vaaditaan tarkkuutta ja ammattitaitoa. Kun suunnitelmat on tarkastettu ja ohjattu halutulle tasolle, on suunnitelmien mukaisuuden tarkastaminen avainasemassa onnistuneiden hankintojen kannalta.

3.4 Hyväksyttäminen rakennuttajalla

Hankekohtaisissa asiakirjoissa, kuten urakkaohjelmassa ja työselostuksessa, on yleensä määritetty prosessi, kuinka laitteet ja varusteet hyväksytetään ennen hankintaa. Hyväksymismenetelmän tavoitteena on varmistaa

- käytettävien koneiden ja laitteiden tekninen sopivuus
- osien ja laitekokonaisuuksien laatu
- niiden käyttöaika ja huollettavuus
- että koneet ja laitteet täyttävät suunnitelma-asiakirjoissa esitetyt vaatimukset
- että koneista ja laitteista muodostuu toimiva järjestelmäkokonaisuus ja että tämä vastaa suunnitelmien mukaisia tavoitteita

- valitun järjestelmän elinkaarikustannukset.

Kun urakoitsija haluaa käyttää muuta kuin suunnitelmissa esitettyä esimerkkikonetta, täytyy hyväksyttämistä varten selvittää mm. seuraavien ominaisuuksien vastaavuus:

- tekninen vastaavuus
- ilmamäärät ja paine-erot
- otsapintanopeudet
- lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
- ominaissähköteho (SFP)
- äänitasot
- mitat, tilantarve ja huollettavuus. [2, s. 381–382.]

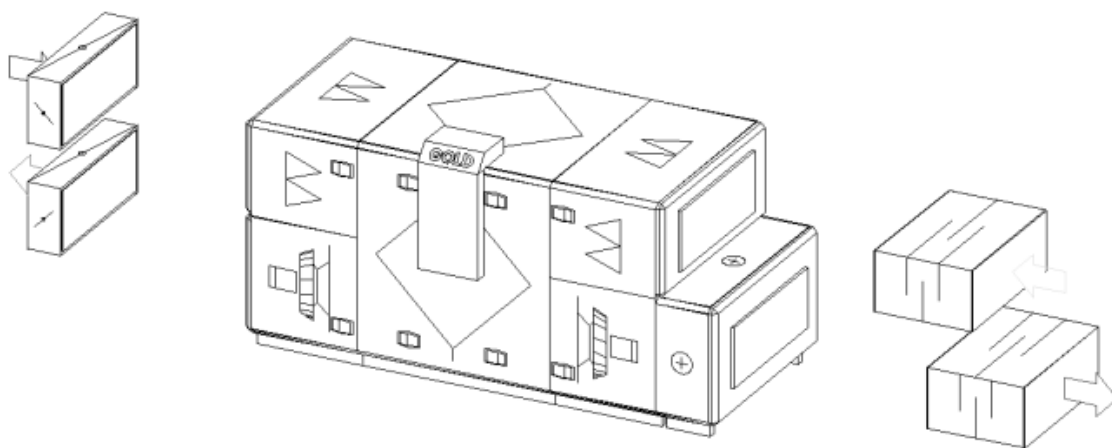
Hyväksyttämisprosessi on projektikohtainen, mutta yleensä se etenee kuvassa 2 esitetyllä tavalla. Vaihtoehdossa A, pääurakoitsija hankkii koneet itse ja vastaa täysin esittamiensä koneiden vastaavuudesta suunnitelmien mukaisiin koneisiin. Pääurakoitsija laatii hyväksyttämismateriaalin, jossa todennetaan koneiden vastaavuus. Rakennuttajan valvoja tarkistaa materiaalit ja lopullisen hyväksynnän antaa tilaaja/rakennuttaja tai sen määräämä henkilö, esimerkiksi rakennuttajakonsultti. Vaihtoehdossa B pääurakoitsija sisällyttää ilmanvaihtokoneiden hankinnan ilmanvaihtoaliurakkaan. Tässä erona vaihtoehto A:han nähden on se, että ilmanvaihtourakoitsija tekee esityksen pääurakoitsijalle ja on päävastuussa laitteiden vastaavuudesta. Pääurakoitsija tarkistaa esityksen ja esitys kulkee valvojan kautta rakennuttajalle/tilaajalle.



Kuva 2. Vaihtoehdot hyväksyttämisprosessin etenemisestä

4 Ilmankäsittelykoneen rakenne

Ilmankäsittelykoneet on koottu yleensä tehdasvalmisteisista modulaarisista osista. Sopivia komponentteja yhdistelemällä saadaan aikaan haluttu ilmankäsittelyprosessi. Ilmanvaihtokoneeseen kuuluu aina vähintään puhallinosa, johon voidaan liittää ilman käsittelyyn tarvittavia laiteosia kuten suodatinosia, lämmönsiirtimiä, äänenvaimentimia, kostutusosa tai muita tarvittavia osia, toimivan kokonaisuuden aikaansaamiseksi. Koneet tulee asentaa aina palkkialustan päälle. Palkkialustan korkeuden tulee olla vähintään 150 mm, jolloin vesilukon asennus on mahdollinen. [2, s. 73.] Kuvassa 3 on leikkaus ilmanvaihtokoneesta, joka on varustettu tulo- ja poistopuolen suodattimilla, ristivirtalevylämmönsiirtimellä sekä lämmityspatterilla.



Kuva 3. Leikkaus ilmankäsittelykoneesta.

Ilmanvaihtokoneen hankinnassa ja hyväksyttämisessä on tärkeää huomioida ja tarkistaa tarjotun koneen kätisyys, jolla tarkoitetaan ilmanvirtaussuuntaa koneessa. On ensiarvoisen tärkeää, että virtaussuunta on oikein, jotta kanava-asennukset voidaan tehdä suunnitellusti ja tilavaraukset ja huoltotila pysyvät suunnitellulla tasolla. Väärällä kätisyydellä tilattu kone voi olla ahtaassa konehuoneessa täysin toteutuskelvoton.

4.1 Sulkupelti

Sulkupellin tehtävä on sulkea ilmavirta ja lämpövuoto mahdollisimman tiiviisti. Suljetun pellin ilmavuoto on olennainen ominaisuus. Ilmapellin tiiviys riippuu pellin säleen jäykkyydestä, säleen reunatiivisteiden laadusta ja kehyksen tiivistyksestä. Pelti suunnitellaan aina tietylle lasketulle maksimi-paine-erolle, jota ei saa ylittää. Siksi on erityisen tärkeää tarkistaa pellin toimittajan antamat tekniset tiedot. Sulkupellin pinta-alan tulee olla mahdollisimman suuri, jotta läpivirtaavan ilman painehäviö olisi mahdollisimman pieni. Sulkupellin säleosien tulee olla lämpöeristetyt, jotta lämpöhukka pysyy mahdollisimman pienenä. [4, s. 166.]

4.2 Suodatinosa

Suodattimien päätehtävä on puhdistaa tuloilma riittävän puhtaaksi palveltavia tiloja varten. Useimmissa ilmapuhdistusjärjestelmissä suodatinosa on sijoitettu koneen alkupäähen sulkupellin jälkeen. Tällöin se suojaa ilmapuhdistuskonetta ja kanavia liialta ja vähentää puhdistustarvetta. Esisuodattimina käytetään luokkien G3...M6 karkea- ja perusuodattimia. Pääsuodattimina käytetään tyypillisesti F7- tai F8-suodattimia. Suodatusluokat on esitetty taulukossa 3.

Suodattimet sisällytetään ilmanvaihtokoneiden toimitukseen ja suodatin tyypit on määritetty suunnitelma-asiakirjoissa. Suunnitelmissa on tyypillisesti vaadittu hankittavaksi 1 sarja vaihtosuodattimia ilmapuhdistuskonetta kohden. [4, s. 167–168.] Suodattimien otospintanopeus saa olla enintään 1,6 m/s uudiskohteissa ja korjauskohteissa 2,0 m/s. Suodattimien tulee täyttää SFS-EN 779:2012 -ilmansuodatinstandardin vaatimukset.

Taulukko 3. Tuloilman suodatus- ja ilmanvaihdon puhtausluokka [3, s. 15].

Suure	S1	S2	S3
Suodatusluokka	F8*	F7*	F6*
Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka	P1	P1	P2

* Viikkaiden liikenneväylien ja muiden hiukkaslähteiden läheisyydessä (<150 m) tulee S1- ja S2-luokissa käyttää yhtä luokkaa tehokkaampaa tuloilman suodatusta.

4.3 Poistoilman lämmöntalteenotto

4.3.1 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin on eniten käytetty lämmöntalteenottojärjestelmä. Se koostuu kiekkomaisesta roottorista ja käyttölaiteistosta. Roottorin kotelo on jaettu kahteen puolikkaaseen, joista toiseen johdetaan tuloilmaa ja toiseen poistoilmaa. Pyöriessään roottori siirtää poistoilman lämmön tuloilmaan. Roottorissa on kennorakenne, jossa on kolmion mallisia virtauskanavia. Nämä kanavat ovat halkaisijaltaan niin pieniä, että virtaus on täysin laminaarista. Roottori toimii vastavirtaperiaatteella sekä ilman väliainetta, ja tämän takia sillä on hyvin korkea hyötysuhde. Pyörivän lämmönsiirtimen etuna on sen puhtaana pysyvyys virtaussuunnan muuttumisen ansiosta. Puhtaan vastavirtalämmönsiirron ja suuren lämmönsiirtopinta-alan ansiosta saavutetaan korkea lämpötilasuhde, joka on tyypillisesti 75–85 %, riippuen laitteen läpi kulkevien ilmamäärien suhteesta.

Pyörivä lämmönsiirrin soveltuu rakenteeltaan erinomaisesti ilmapuhdistuskoneeseen, sen pienen tilantarpeen vuoksi. Itse roottorin syvyys ilmapuhtauskulkusuunnassa on tyypillisesti 200 mm, ja koko toimintaosan tilantarve on noin 400 mm. Pelkkä lämmöntalteenotolla lämmittäminen riittää suuren osan vuodesta, jolloin lämmityspatterin käytön tarve on hyvin pieni. Painehäviö pysyy myös hyvin kohtuullisena, minkä ansiosta puhaltimen sähköenergian tarve pysyy maltillisena. Energiatehokkuuden kannalta pyörivän lämmönsiirtimen tuottama hyöty on merkittävä.

Pyörivät lämmönsiirtimet voidaan jakaa kahteen pääryhmän: kosteutta siirtämättömiin ja kosteutta siirtäviin eli hygroskooppisiin roottoreihin. Kosteutta siirtämätön roottori siirtää pääosin pelkkää tuntuvaa lämpöä. Sitä käytetään, kun ei haluta siirtää kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Ei-hygroskooppinen roottori selviää noin -15 °C :n ulkolämpötilaan asti ilman huurtumis- ja jäätymisongelmia, varsinkin silloin kun ilmanvaihto pysäytetään yön ajaksi. Hygroskooppinen roottori sitä vastoin siirtää kaikissa olosuhteissa sekä tuntuvaa lämpöä että kosteuteen sitoutunutta piilevää latenttia lämpöä. Sen roottori toimii jopa noin -25 °C :n lämpötilaan asti ilman ylijäämävettä ja huurteenpoistoa. Sitä käytetään esimerkiksi voimakkaasti ilmastoiduissa tai kostutetuissa tiloissa, kun halutaan siirtää kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Hygroskooppisten roottorien suoritusarvojen erot eri laitetyyppien ja valmistajien välillä voivat poiketa paljonkin toisistaan.

Keskitetyssä ilmanvaihdossa pyörivän lämmönsiirtimen käyttöä rajoittaa luokan 3 poistoilma, jota saa yhdistää keskitettyyn ilmanvaihtoon korkeintaan 5 %. Tämä rajoittaa josain määrin esim. WC-tilojen poistoilman kytkemistä keskitettyyn koneeseen. Tosin jos kone palvelee vain yhtä tilaa, voidaan pyörivää lämmönsiirrintä käyttää hyvinkin likaisten tilojen ilmanvaihdossa. [4, s. 178–180.]

4.3.2 Levylämmönsiirrin, ristivirta

Ristivirtaisen levylämmönsiirtimen tyypillisin käyttökohde on pientalot. Siirtimen etuna on sen kustannustehokas rakenne, hygieenisuus ja kohtuullisen hyvä lämmöntalteenoton lämpötilasuhde. Levylämmönsiirrin koostuu joukosta neliömäisiä levyjä, joiden välissä tulo- ja poistoilma kulkevat ristikkäin. Puhtaan ristivirtaperiaatteen ansiosta tulo- ja poistoilman kulkusuunnalla ei ole merkitystä ilmanvaihtokoneessa. Levylämmönsiirrin on toiminnaltaan hyvin varma, sillä se ei sisällä lainkaan liikkuvia osia, pois lukien siihen liitettävät säätö- ja turvalaitteet. Taloudelliselta maksimihyötysuhteeltaan levylämmönsiirtimellä päästään noin 60–65 %:n hyötysuhteeseen.

Levylämmönsiirtimessä tulee aina ottaa huomioon sen huurtumisherkkyys. Huurteen poistomenetelmiä ovat lohkosulatus, ajoittainen ohitus ja kylmäkulma-menetelmä. Lohkosulatuksessa siirrin jaetaan lohkoihin sulkupeltien avulla ja estetään ulkoilman pääsy lämmönsiirtimeen yksi lohko kerrallaan, jolloin lämmin poistoilma sulattaa suljetun lohkon. Ajoittaisessa ohituksessa ulkoilman pääsy siirtimeen estetään kokonaan ohituspellin avulla. Ohitusta jatketaan kunnes huurre on täysin sulanut pois. Ohitustilanteessa lämmöntalteenotto on kokonaan pois käytöstä. Kylmäkulmamenetelmässä ohituspellillä kasvatetaan ohitusilmavirtaa lämmönsiirtimen ohi ja otsapintapellillä pienennetään ulkoilmavirtaa lämmönsiirtimen kautta. [4, s. 180–182.]

4.3.3 Levylämmönsiirrin, vastavirta

Vastavirtalevylämmönsiirrin on rakenteeltaan samankaltainen kuin ristivirtasiirrin, sillä erolla että ilmavirrat kulkevat enemmän toisiaan vastaan. Lämpötilahyötysuhteessa on mahdollista saavuttaa merkittävä parannus verrattuna ristivirtasiirtimeen, sillä hyötysuhde on parhaimmillaan yli 80 %. Toteutustapana ja korkea lämpötilasuhde tarkoittavat sitä, että siirrin on hyvin huurtumisherkkä. Tämän takia huurteensulatuksen tulee olla

toiminnaltaan luotettava ja varma. Tässä voidaan käyttää myös samantyyppistä lohkoihin jaettua huurteenestomenetelmää kuin ristivirtasiirtimessä. Se ei kuitenkaan välttämättä ole riittävä kaikissa tapauksissa, jolloin tarvitaan lisäksi etulämmityspatteri lämmitämään sisään otettavaa ulkoilmaa.

Vastavirtasiirtimessä täytyy ilmavirtojen kulkea vastakkaisiin suuntiin myös itse ilmanvaihtokoneessa. Se rajoittaa jonkin verran kanavaliitäntöjen mahdollisuuksia samalla tavalla kuin pyörivässä lämmönsiirtimessä. Kondenssiveden poistumisen kannalta, pitää poistoilmavirran suuntautua alaspäin. Vastavirtasiirrin on tilantarpeeltaan suurin näistä kolmesta, joka tulee huomioida konehuonesuunnittelussa. [4, s. 183.]

4.3.4 Nestekiertoinen lämmöntalteenotto

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä lämmönsiirto poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu väliaineen, yleensä vesi-glykoliliuoksen avulla. Sekä tulo- että poistopuolelle sijoitettavat lämmönsiirtimet ovat rakenteeltaan samanlaiset kuin lämmitys- ja jäähdytyspatterit. Järjestelmän lämmöntalteenottotehon säätö tapahtuu säätämällä nestevirtaa 3-tieventtiilillä.

Siirtimen lamellijako on normaalisti 2 mm. Paitsi jos poistoilmassa on epäpuhtauksia, esim. keittiöiden ilmanvaihdossa, käytetään n. 4 mm:n lamellijakoa. Neste lämpenee kulkiessaan poistoilmapatterin kautta ja siirtää lämmön tuloilmaan. Poistoilmalämmönsiirtimessä tapahtuu aina kosteuden tiivistymistä, joten siirrin varustetaan kondenssialtaalla, josta vesi johdetaan vesilukon kautta lattiakaivoon.

Nestekiertoisella järjestelmällä on hyviä puolia, jotka erottavat sen muista järjestelmistä. Niitä ovat seuraavat seikat:

- Tulo- ja poistoilmavirrat on erotettu toisistaan kokonaan, tämän ansiosta näiden välillä ei pääse muodostumaan minkäänlaisia vuotoja. Järjestelmää käytetään mm. sairaaloissa, leikkaussaleissa ja laboratorioissa.
- Järjestelmää voidaan käyttää ratkaisuissa, joissa tulo- ja poistoilmakone on jouduttu sijoittamaan erilleen toisistaan tai kokonaan eri tiloihin.

- Järjestelmä on kohtalaisen yksinkertainen asentaa olemassa oleviin laitoksiin. Lisäksi järjestelmän tilanterve on pieni, ja ilmanvaihtokoneiden sijaintia ja kanavointia ei välttämättä tarvitse muuttaa. [4, s. 184.]

4.4 Nestekiertoinen lämmitys- ja jäähdytyspatteri

Lämmönsiirtimiä käytetään ilmankäsittelykoneissa lämmittämään ja jäähdyttämään ilmaa. Patterin tehtävänä on tuottaa mahdollisimman hyvä lämmönsiirtoteho, mahdollisimman pienellä painehäviöllä. Lämpöä siirtävä osa koostuu lamelleista, joiden materiaali on usein alumiinia, sekä nesteputkista, joiden materiaali on usein kupari. Käyttökohteen vaatimuksista riippuen monia muitakin materiaaleja käytetään. Lämmityspattereiden tyypillinen lamelliväli on n. 2–2,5 mm ja jäähdytyspattereissa vähintään 3 mm. Ilmanvaihtokoneen pattereiden lamellipinnoilla, joihin voi tiivistyä vettä, tulee ilman otsapintanopeuden olla alle 2,5 m/s ja aina kuivana toimivien pattereiden lamellipinnalla alle 3,0 m/s. [4, s. 170.]

4.4.1 Lämmityspatterit

Lämmityspattereissa käytetään väliaineena yleensä lämmitysverkoston vettä. Esilämmityspattereissa käytetään myös vesi-glykoliliuosta, patterin jäätymisriskin vuoksi. Teollisuudessa käytetään myös öljyä, prosessinesteitä tai höyryä. Kun väliaineena käytetään vettä, täytyy patteri varustaa aina jäätymissuojatoiminnoilla. Jäätymisen estämiseksi asennetaan lamelliputken paluupuolelle lämpötilaa mittaava puikkomainen uppoanturi. Anturi vahtii kiertävän veden lämpötilaa ja estää sitä laskemasta alle jäätymisrajan. Ulkoilman lämmittämiseen käytettävät lämmityspatterit varustetaan aina pumppukierrolla. Pumppukierro huolehtii siitä, että lamelliputkistossa on aina saman suuruinen virtaama riippumatta lämmitystehosta. Näin ollen patteriin ei pääse syntymään seisovan veden kohtia, jossa jäätyminen tapahtuu. [4, s. 170–171.]

4.4.2 Jäähdytyspatteri

Jäähdytyspatterin tehtävä on jäähdyttää kesäaikana ulkoilma sopivaan lämpötilaan puhallettavaksi sisätiloihin. Jäähdytyspatterissa käytetään jäähdytysverkoston vettä tai vesi-glykoliliuosta, mutta teollisuudessa myös öljyä tai muita nesteitä. Jäähdytyspattereissa tapahtuu aina kosteuden tiivistymistä ja syntyy kondenssivettä. Jos ilman nopeus

patterissa on liian suuri, lähtee kondensoitunut vesi ilmavirran mukana. Kun mitoitusperiaatteena käytetään otsapintanopeuden suuruusluokkana 2 m/s, tätä vaaraa ei ole. Joissain erikoistapauksissa tosin voi kondenssiveden määrä olla niin suuri että tarvitaan pisaranerotinta. Pisaranerotin tarvitaan aina, jos otsapintanopeus suurimmalla suunnitellulla ilmavirralla ylittää 2,5 m/s. Jäähdytyspatteri täytyy aina varustaa kondenssivesialtaalla, joka johdetaan vesilukon kautta lattiakaivoon. [4, s. 171–172.]

4.5 Puhallinosa

Puhaltimen tärkeimmät osat ovat moottori ja siipipyörä. Sähkömoottori pyörittää siipipyörää, joka saa aikaan ilman liikkeen niin, että ilman virtausnopeus ja paine kasvavat. Puhaltimen kehittämä paineen korotus vastaa ilmavirran aiheuttamaa painehäviötä kanavistossa. Puhallinmoottoreina käytetään pääosin kolmea eri moottorityyppiä, jotka ovat oikosulkumoottori, EC-moottori ja PM-moottori. [4, s. 174.]

4.5.1 Oikosulkumoottori (IEC)

3-vaihe oikosulkumoottori on ns. perinteinen IEC-moottorirunkoinen sähkömoottori. Se voidaan kytkeä suoraan kolmivaiheiseen neljänsadan voltin verkkoon tai taajuusmuuttajan kautta. Moottorin pyörimisnopeuksia 50 Hz:n taajuudella ovat esimerkiksi 750, 1 000, 1 500 ja 3 000 rpm. Mikäli halutaan käyttää muita nopeuksia, pitää käyttää soveltuvaa pyörimisnopeussäätöä. Oikosulkumoottorin hyötysuhde on suhteellisen korkea, paitsi pienillä moottoritehoilla.

4.5.2 EC-moottori

EC-moottori on elektronisesti kommutoitu harjaton tasavirtamoottori, joka on varustettu kestopagneetilla. Kommutoinnilla tarkoitetaan, että virran suuntaa staattorissa ohjataan suhteessa roottoriin Hall-antureilla. EC-moottorilla on parempi hyötysuhde kuin oikosulkumoottorilla. Moottorilla on laaja pyörimisnopeusalue, jossa hyötysuhde pysyy korkeana. EC-moottori tarvitsee aina pyörimisnopeuden säätöyksikön, eikä sitä voi kytkeä suoraan sähköverkkoon. Säätöyksikkö on usein integroitu moottoriin. EC-moottori soveltuu parhaiten pienille moottoritehoille, jolloin myös hyötysuhteen parannus on suuri.

4.5.3 PM-moottori

PM-moottori on kestopagneetilla varustettu moottori, jonka rakenne on samanlainen kuin 3-vaiheisessa oikosulkumoottorissa. Moottorin hyötysuhde on huomattavasti parempi kuin oikosulkumoottorilla. PM-moottori vaatii aina pyörimisnopeussäätimen, eikä sitä voi kytkeä suoraan sähköverkkoon. Säätimenä käytetään taajuusmuuttajaa, jonka on oltava erityisesti PM-moottorikäyttöön suunniteltu. PM-moottori on rakenteeltaan IEC-moottorin kaltainen ja se kytketään normaaliin 3-vaiheverkkoon taajuusmuuttajan välityksellä. [4, s. 175.]

4.6 Äänenvaimennus

Äänenvaimentimina käytetään tehdasvalmisteisia äänenvaimentimia, joille laitevalmistaja ilmoittaa mitatut äänenvaimennusarvot [5, s. 15]. Äänenvaimentimien suoritusarvojen ja ominaisuuksien tulee olla testattu voimassaolevien standardien tai tyyppihyväksyntäohjeen mukaisesti [2, s. 76]. Vaimennin on mitoitettava niin, ettei virtausnopeus kasva kanavassa. Väärin mitoitettu äänenvaimennin voi itse aiheuttaa enemmän ääntä kuin vaimentaa. Äänenvaimentimen ja sen koon valinnassa tulee huomioida tilavarukset, jotta vaimennin voidaan asentaa mahdollisimman lähelle äänilähdettä, ottaen huomioon kuitenkin tarvittavat suojaetäisyydet. [5, s. 15.]

4.7 Koneen vaatimukset

Ilmankäsittelykoneen on täytettävä EU:n kone-, pienjännite- ja rakennustuotedirektiiveissä, Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 sekä standardeissa SFS 5358, SFS-EN 1886 ja SFS-EN 13053 esitetyt vaatimukset. Standardien sisältö on avattu opinnäytetyön alussa, kohdassa Lyhenteet, käsitteet ja standardit. Valmistajan tulee vakuuttaa koneen vaatimuksenmukaisuus. Koneen kokoonpanijan on saatettava kone siihen kuntoon, että se täyttää EU:n konedirektiivin 98/37/EY koneen määritelmän, kokoaa koneen osien vaatimuksenmukaisuusvakuutukset ja allekirjoittaa ne sekä kiinnittää CE-merkin koneeseen. Ilmankäsittelykoneen kaikkien toiminta-osien pitää olla lämmöneristettyjä. Vaipan lämpöeristysluokat on määritetty standardissa SFS-EN 1886. Lisäksi ilmankäsittelykoneiden palosuojauksen, koneen rakenteen, sijoituksen ja varustelun tulee täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osien E1 ja E7 ohjeet. [6, s. 144.]

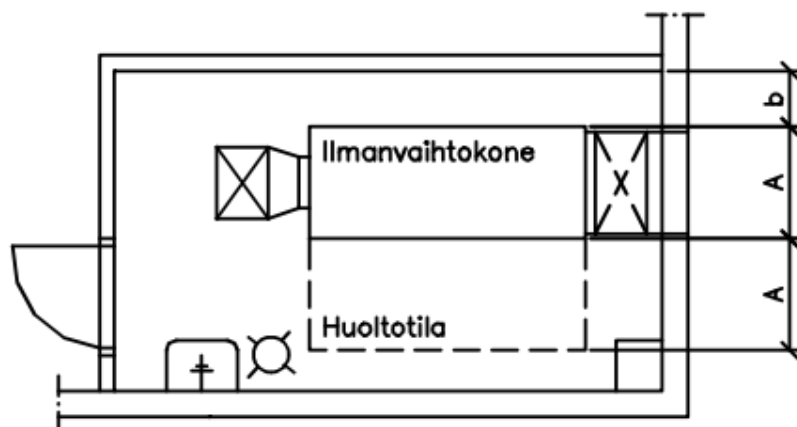
Ilmastointikoneen on täytettävä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeissa esitetyt sekä tyyppihyväksyntäohjeissa asetetut vaatimukset seuraavien ominaisuuksien osalta:

- vaipan tiiviys
- vaipan paineenkestävyys
- liitoksen tiiviys
- suodattimen ohivuoto
- lämmöntalteenotto-osan tulo- ja poistopuolen välinen vuoto [2, s. 74.]

Ilmastointikone on yleensä riittävän tiivis, kun sen vaippa on tiiviydeltään vähintään tiivisluokkaa A ja vuotoilmavirta tulo- ja poistopuolen välillä on enintään 6 % ilmanvaihtokoneen nimellisilmavirrasta koepaineella 300 Pa. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on esitetty suurimmat sallitut vuotoilmavirrat eri tiivisluokille. Lisäksi koneen vaipan tulee kestää vähintään 1 kPa:n käyttöpainetta. [2, s. 127.]

4.8 Ilmanvaihtokonehuoneen- ja ilmanvaihtokoneen fyysinen mitoitus

Ilmanvaihtokonehuoneet on suunniteltava ja mitoitettava siten, että konehuoneessa on riittävästi tilaa koneiden puhdistusta ja huoltoa varten. Tila voidaan katsoa riittäväksi, kun koneen huoltopuolelle on vähintään koneen korkeuden ja leveyden verran tilaa. Seinän puolella tilaa tulee olla vähintään 400 mm; leveys voi olla myös pienempi, jos koneen taakse ei tarvitse huollon takia päästä. Koneet on myös pystyttävä huoltamaan yläpuolelta. Yli 35 kg:n painoisten osien vaihtoa varten tulee osien yläpuolella olla vähintään 400 mm tilaa nostolaitteita varten. [2, s. 109.] Kuvassa 4 on mitoitus esimerkki ilmanvaihtokoneen huoltotilasta.



Kuva 4. Koteloidun ilmanvaihtokoneen huoltotilan mitoitus esimerkki. A on ilmanvaihtokoneen leveys ja b on 0,4 kertaa ilmanvaihtokoneen korkeus tai vähintään 400 mm [7].

Ilmanvaihtokoneen fyysinen koko on mitoitettava ja valittava siten, että se on helposti ja turvallisesti huollettavissa ja korjattavissa, huomioiden myös kanava-asennusten viemätila. Laitteiden huoltoa ja puhdistusta varten on varattava riittävästi tilaa. Ilmanvaihtokoneiden huoltoluukkujen tulee olla avattavissa ilman työkaluja [7].

Tärkein jatkuva huoltokohde on ilmanvaihdonsuodatin. Tulevaisuudessa olisi syytä pohdita, tarvitseeko huoltotilojen todellisuudessa olla näin kattava. Huoltotilantarve voidaan huomioida hankintavaiheessa ja etsiä laitetoimittajien kanssa sellaisia ratkaisuja, jotta mahdolliset muut huollot pystytään tekemään myös vähäisemmillä huoltotilavarauksilla. Tämän ansiosta saadaan tilojen hukkapinta-alat käyttöön ja pystytään mahdollisesti käyttämään pienempiä konehuoneita, jolloin rakennuksen muulle toiminnalle jää enemmän käyttötilaa. Saneerauskohteissa joissa ilmanvaihtokoneet uusitaan ja konehuoneiden tiloja ei pystytä laajentamaan, on usein ongelmia koneiden mahtumisen ja huoltotilojen kanssa. Kuvassa 5 on esimerkki saneerauskohteesta toteutetusta ilmanvaihtokonehuoneesta, jossa laiteratkaisuilla on pystytty tinkimään huollon vaatimasta tilasta.



Kuva 5. Valokuva rakennusvaiheesta olevasta IV-konehuoneesta

5 Ilmanvaihtokoneen tekniset ominaisuudet

5.1 Ilmavirrat ja paine-erot

Suunnitelma-asiakirjoissa on määritetty ilmavirrat (m^3/s) ja paine-erot (Pa) ilmanvaihtokoneille. Paine-ero perustuu kanavistossa tapahtuvaan painehäviöön. Ilmavirroille on määritetty ohjeelliset vähimmäisarvot Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ja Sisäilmaluokitus 2008:ssa. Näiden vähimmäisarvojen pohjalta voidaan ilmavirrat määrittää epäpuhtaus-, lämpö- ja kosteuskuormituksen perusteella. Huonekohtaiset ilmavirrat voidaan määrittää joko tilan pinta-alan perusteella tai sen mukaan, kuinka monta henkilöä käyttää tilaa samanaikaisesti.

5.2 Otsapintanopeus

Veden ja lumen pääsy ulkoilma-aukoista on estettävä tähän tarkoitukseen suunnitelluilla säleikoilla, joiden otsapintanopeuden pitää olla alle 2 m/s. Ulkoilmasäleikön ja ilmanvaihtokoneen väliin voidaan myös asentaa kammio, jossa ilman nopeus on alle 2 m/s ja joka estää kosteuden pääsyyn koneeseen. [6.] Otsapintanopeutta pienentämällä on mahdollista päästä parempiin hyötysuhteen arvoihin. Otsapintanopeudella 1,5 m/s päästään hyviin hyötysuhteisiin energiatehokkuuden kannalta. Se tosin vaatii väljempiä kone- ja kanavamitoituksia, mikä tarkoittaa koneiden ja kanavien fyysisen koon kasvattamista ja sen seurauksena taas materiaalikustannukset kasvavat.

5.3 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto (LTO)

Ilmanvaihto kuluttaa energiaa, mutta ilmanvaihdon energiatehokkuutta voidaan parantaa käyttämällä ilmanvaihtoa todellisen tarpeen mukaisesti ja ottamalla poistoilmasta lämpöä talteen. Tuloilman lämmittämiseen käytettävä energian osuus koko rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta on tyypillisesti kolmenkymmenen ja viidenkymmenen prosentin välillä. Laitetyypistä riippuen, tästä energiamäärästä voidaan lämmöntalteenotolla kattaa noin 50–80 %. Todellinen mitoitus tehdään vuosihyötysuhteen elinkaarilaskelman mukaan. [8, s. 1.]

Suurentamalla lämmöntalteenottopinta-alaa on mahdollista parantaa hyötysuhdetta, mutta ongelmana suuressa pinta-alassa on laitteen huurtumisherkyys. Laitteiden huurtuminen vaatii koneiden pysäytystä sulatuksen ajaksi, joka on taas pois hyötysuhteesta. Nykyajan lämmöntalteenottolaitteet ovat teknisesti niin kehittyneitä, että hyötysuhteen kehittämisessä on turvaututtava ennemmin sähkömoottoreiden ja rakennusautomaation kehittämiseen, kuin itse talteenottolaitteen kehittämiseen.

Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen vähintään se lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 %:a ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä, kun poisto- ja tuloilmavirrat ovat yhtä suuret. Prosenttiarvo voi myös olla pienempi, mikäli vastaava lämpöenergiatarpeen pienentäminen ositetaan rakennuksen lämpöhäviöidän tasauslaskennalla. [7.] Lämmöntalteenotosta voidaan luopua, jos ilmanvaihtokone palvelee yksittäistä tilaa ja lämmöntalteenoton rakentaminen osoitetaan epä-

tarkoituksenmukaiseksi. LTO on epätarkoituksenmukainen esimerkiksi, jos tilan poistoilma on poikkeuksellisen likaista, tilan lämpötila on lämmityskaudella alle +10 °C, eikä poistoilmasta ole saatavissa lämpöä talteen kustannustehokkaasti [9]. Vaatimus poistoilmasta talteen otettavan lämmön määrästä tulee suurella todennäköisyydellä tiukentumaan ensi vuonna. Vuonna 2017 poistoilmasta otettavan lämpömäärän on oltava vähintään 55 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä, kun poisto- ja tuloilmavirrat ovat yhtä suuret. [11].

Talteen otettavan energian määrä riippuu lämmöntalteenottolaitteen lisäksi monista muista tekijöistä, joille on määritelty erilaisia käsitteitä. Osa näistä on LTO-laitteen ominaisuuksia, ja osa kuvaa laitteen suorituskykyä ko. ilmanvaihtojärjestelmässä tai koko rakennuksessa. LTO:n eri laite- ja järjestelmäratkaisuja vertailtaessa on tärkeää, että vertailut tehdään oikeilla suoritusarvoilla. [8, s. 1.]

5.3.1 Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

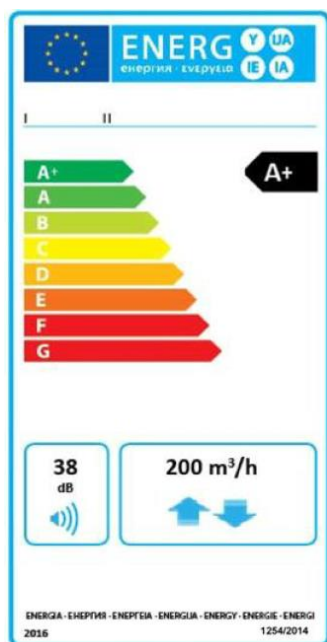
Vuosihyötysuhde on suure, joka kuvaa parhaiten rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tehokkuutta. Vuosihyötysuhde antaa parhaan käsityksen rakennuksen ilmanvaihdossa säästettävästä energiamäärästä. Se on kuitenkin eri suure kuin LTO-laitteen lämpötilasuhde. [8, s. 1.] Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde voidaan määrittää laitevalmistajan ilmoittaman varmennetun vuosihyötysuhteen perusteella [9].

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on prosenttiarvo, joka on laskettu koko rakennuksen ilmanvaihdolle. Vuosihyötysuhde ei ole laitteen ominaisuus, eikä sitä tule verrata keskenään eri laitteilla ja eri rakennuksissa saaduilla vuosisuhteen arvoilla. Eri laitteilla saavutettavia vuosihyötysuhteita voidaan verrata sertifikaattien avulla tai laskelmilla. Vuosihyötysuhde on laskennallinen arvo, jossa otetaan huomioon koko lämmityskausi, mukaan luettuna lämmönsiirtimen jäätymisen esto. Vuosihyötysuhde on näin ollen aina pienempi kuin LTO-laitteelle mitattu lämpötilasuhde. Vuosihyötysuhde voidaan laskea ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän mukaan. [8, s. 2.]

5.3.2 Energiaselvitys

Suomen rakentamismääräyksissä on vuodesta 2003 edellytetty lämmöntalteenottoa (LTO) poistoilmasta. Mikäli lämmöntalteenotosta luovutaan, vaaditaan lämpöhäviöiden tasausta ja niihin kuuluvia laskelmia. Rakennuslupahakemuksessa on esitettävä rakennuksen energiaselvitys. Selvitys tarvitaan aina, kun haetaan lupaa uuden rakennuksen rakentamiselle. Rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittaminen on yksi keskeinen osa energiaselvitystä. Rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennalla osoitetaan, että lämpöhäviöille asetetut vaatimukset täyttyvät. Tasauslaskentaan liittyy Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukainen rakenteiden lämmöneristys ja osan D2 mukainen ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Energiaselvityksessä vaaditaan myös rakennuksen SFP-luvun laskenta. Lämpöhäviöiden tasauslaskentaa käsitellään LVI-ohjekortissa LVI 10–10433. [8, s. 1.]

Uusi energiamerkintävaatimus on tullut voimaan vuonna 2016. Tätä koskevat ekosuunnitteluvaatimukset koskevat asuinrakennuksiin ja muihin tarkoituksiin tarkoitettuja, otto-
teholtaan yli 30 watin ilmanvaihtokoneita. Energiamerkissä ilmoitetaan laitteen energia-
tehokkuus keskimääräisille ilmasto-olosuhteille, äänentehotaso ja maksimi-ilmavirta. Nuolet ilmaisevat, onko laite yksi- vai kaksi-ilmavirtainen. Kuvassa 6 on esitetty energiamerkintä. [11.]



Kuva 6. Energiamerkintä [11].

5.4 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla tarkoitetaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän; tehonsäätölaitteiden, puhaltimien ja mahdollisten taajuusmuuttajien yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla, käyttäen suurempaa lukua näistä. Toisin sanoen SFP-luku kuvaa, kuinka paljon järjestelmä tarvitsee sähkötehoa yhden ilma-kuution siirtämiseen sekunnissa. Mitä pienempi SFP-luku on, sitä pienemmällä sähköteholla ilmaa voidaan kuljettaa rakennuksessa. Ominaissähköteho ottaa huomioon koko ilmavaihtojärjestelmän tehokkuuden, eikä pelkästään puhaltimien käyttämää sähkötehoa. SFP-lukuarvo sisältää eri toiminto-osien painehäviöt, moottorin, puhaltimien, LTO-pumpun ja käytön hyötysuhteet sekä liitäntähäviöt. Ominaissähkötehoa ei pidä sekoittaa ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutukseen. Sähköenergiankulutus sisältää edellä mainittujen lisäksi myös mahdollisten muiden pumppujen sähköenergiankulutuksen.

SFP-luvun avulla voidaan ohjata toteutuvan ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuustasoa haluttuun arvoon. Sen avulla voidaan varmistaa, että suunnittelu- ja toteutusprosessi johtavat halutulle tasolle käyttökustannuksien kannalta. Konekohtaista SFP-lukua tarvitaan suunnitteluvaiheessa ohjaamaan mitoitusta ja konevalintaa siten, että jokaisen koneen kohdalla voidaan varmistua vaatimuksien täyttymisestä. Mikäli suunnitelmassa esitetyn konevalinnan tilalle esitetään poikkeavaa valintaa, pitää sen SFP-luvun olla vähintään samalla tasolla kuin suunnitelmissa esitetyn ilmanvaihtokoneen. On ensiarvoisen tärkeää, että kaikki tarkastelut suunnittelusta hyväksyttämiseen tehdään samalla laitekokoonpanolla. Mikäli suunnitteluarvot on määritetty koneelle, jossa on äänenvaimentimet, ei tähän koneeseen voi verrata sellaisen koneen SFP-lukua jossa vaimentimet eivät kuulu kokoonpanoon. Äänenvaimentimet koneessa aiheuttavat aina painehäviön, joka vaikuttaa koneen SFP-lukuun.

Mahdollisimman alhaisen SFP-luvun saavuttaminen ei ole tarkoituksenmukaista. Lukuarvo määritetään projektikohtaisesti ottaen huomioon haluttu käyttökustannustaso ja investointikustannukset sekä huomioimalla rakentamismääräykset. Kohteen sisäilman tavoitetaso ja kohdekohtaiset vaatimukset sekä rakennustyyppi vaikuttavat huomattavasti SFP-lukuun. Sisäilmaston laadun ja rakennuksen muun energiatehokkuuden kustannuksella ei pidä pyrkiä alhaiseen SFP-lukuun. SFP-luku voi kuitenkin muuttua koneen elinkaaren aikana, esimerkiksi kanavien ja suodattimien likaantuessa, sekä ilmavirtojen

muuttuessa järjestelmän säädön tai tasapainotuksen yhteydessä. Ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luvulle voidaan määrittää laskennallinen tai mitattu arvo.

Hyvällä suunnittelulla ja laitevalinoilla voidaan vaikuttaa suuresti rakennuksen ilmapäästelyjärjestelmien sähkönkulutukseen ja sitä kautta koko rakennuksen elinkaarikustannuksiin ja ympäristökuormituksiin. Ominais sähkötehon suuruuteen vaikuttaa myös ilmanvaihtokoneen ulkopuolinen painehäviö. Alhaisen SFP-luvun saavuttaminen edellyttää siis kanaviston riittävän väljää mitoitusta sekä kanaviston huolellista ja tiivistä asennusta. Suunnitteluvaiheessa liian niukaksi mitoitettu SFP-luku saattaa toteutusvaiheessa kasvaa liian suureksi, jos asennusvaiheessa kanavistoon joudutaan tekemään suunnittelemattomia supistuksia, suorakaidekanavaosuuksia tai mutkia.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 ohje 2.6.1.1 asettaa koko rakennuksen koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominais sähkötehoksi enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominais sähkötehon vaatimus on enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ohje 2.6.1.2 antaa myös mahdollisuuden suurempaan ominais sähkötehoon perustellusta syystä. Tällaisia poikkeuksia esiintyy esimerkiksi sairaaloissa, laboratorioissa ja tuotannollisissa tiloissa, joissa edellytetään monivaiheista suodatusta tai poikkeuksellisen paljon painehäviöitä aiheuttavia toiminto-osia ilmapäästelykoneeseen tai kanavistoon. Koneiden käyttötuntimäärä huomioidaan myös SFP-luvun vaatimuksissa. Pienellä tuntikäytöllä olevan koneen SFP-luku voi olla myös suurempi. Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ominais sähköteho on mitattava ennen rakennuksen käyttöönottoa. Ominais sähkötehon määrittämiseen tarvitaan puhallinkohtaisesti mitattu ilmavirta ja sen verkosta ottama sähköteho. [10.]

Ilmanvaihtokoneen, joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen, ominais sähkötehon määrittämiseksi lasketaan puhaltimien ja lämmöntalteenottopumppujen, moottorien, taajuusmuuttajien sekä muiden säätölaitteiden sähköverkosta ottama sähköteho yhteen. Tästä saadaan koko ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho ja se jaetaan tulo- tai poistoilmavirtojen summalla, suuremmalla näistä kahdesta. Samalla kaavalla voidaan laskea yksittäisen ilmanvaihtokoneen sekä koko ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku. Taulukossa 4 on esitetty konekohtaiset lähtötiedot rakennuksen SFP-luvun laskemiseen. [10.] Yksittäisen ilmanvaihtokoneen mitoitus ja valinta täytyy kuitenkin tehdä tämän työn luvussa 6 Ekologisen suunnittelun vaatimukset esitetyllä tavalla.

Taulukko 4. Esimerkki laiteluettelossa vaadittavista konekohtaisista lähtötiedoista [10, s. 4].

Ilmankäsittelykone TK-1		SFP ¹⁾ = 1,9 kW/(m ³ /s)
Tuloilmapuhallin TF-1		
Ilmavirta ²⁾		4,2 m ³ /s
Kanaviston painehäviö ³⁾		250 Pa
Ottoteho SFP ⁴⁾		4,3kW
Poistoilmapuhallin PF-1		
Ilmavirta ²⁾		3,9m ³ /s
Kanaviston painehäviö ³⁾		240 Pa
Ottoteho SFP ⁴⁾		3,7 kW

¹⁾SFP-luku on konekohtainen SFP-luku, joka tarvitaan vastaavuusvertailua tehtäessä

²⁾Ilmavirtojen summaa tarvitaan SFP-luvun laskemiseen

³⁾Kanaviston suunniteltu painehäviö on lähtöarvo, jota tarvitaan ilmankäsittelykoneen puhallin-kohtaisen ottotehon ja koko koneen SFP-luvun laskemiseen

⁴⁾Puhallinkohtainen ottoteho SFP on kyseisen puhaltimen ottama sähköteho suunnitelluilla ilmavirroilla ja annetuilla kanaviston painehäviöillä. Lukuarvo saadaan konevalmistajalta, mitoitusohjelman tulosteesta. Tämä sama arvo pitäisi saada mittaustuloksena, valmiiksi asennetusta ja säädetystä järjestelmästä. [10, s. 4.]

Koko rakennuksen SFP-luvun laskentaperiaate:

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{max}}$$

jossa:

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien, mahdollisten LTO-pumppujen, moottorien ja muiden säätölaitteiden ottama sähköteho, kW

q_{max} on mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m³/s (suurempi näistä)

Yksittäisen puhaltimen SFP-luku lasketaan kaavalla

$$SFP = \frac{P_{puhallin} + P_{apulaitteet}}{q}$$

jossa:

SFP on puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

$P_{puhallin}$ on puhaltimen ottama sähköteho, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden ottama sähköteho, kW

q on puhaltimen ilmavirta, m³/s [10, s. 2]

5.5 Äänitasot

Ilmavaihtokoneen puhaltimet ja ilman virtaus koneessa sekä kanavistossa aiheuttaa aina jonkin verran ääntä. Jotta äänitaso ei aiheuta häiriötä, se ei saa nousta suuremmaksi kuin sille asetettu tilakohtainen enimmäisäänitaso. Ilmanvaihtolaitteet eivät saa aiheuttaa häiritsevää ääntä myöskään rakennuksen ulkopuolelle. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttama keskiäänitaso LA_{eq,T} saa olla enintään 45 dB(A) saman tai läheisen asuinrakennuksen piha-alueella, ikkunan ulkopuolella, parvekkeella tai vastaavassa paikassa.

Ilmanvaihtolaitteet suunnitellaan ja valitaan siten, että niiden aiheuttama ääni ei ylitä enimmäisäänitasovaatimuksia rakennuksen sisäpuolella eikä ulkopuolella. Suunnittelussa ja laitevalinnoissa on huomioitava ilmanvaihdon lisäksi myös muiden LVIS-laitteiden tuottama yhteisäänitaso. Hyvään äänitekniiseen lopputulokseen päästään, kun huomioidaan suunnittelussa ja laitevalinnoissa äänitekniset vaatimukset, tehdään tarvittavat painehäviö- ja äänilaskelmat sekä huomioidaan riittävät varmuuskertoimet. Ilmanvaihtokoneiden ja puhaltimien valinnassa tulee huomioida niiden aiheuttama ääni kanavistoon ja ympäristöön. Ilmanvaihtokoneen mitoitus vaikuttaa oleellisesti koneiden puhaltimien aiheuttamaan ääneen. Ilmanvaihtokoneiden ja puhaltimien äänitekniset tiedot saadaan valmistajan käyrästöistä ja taulukoista. Täytyy kuitenkin muistaa laitevalintoja tehtäessä, että ilmoitetut arvot on yleensä mitattu laboratorio-olosuhteissa. Laitevalmistajat ilmoittavat yleensä laitteidensa äänenpainetasot –4 dB:n huonevaimennuksella, jossa on huomioitu tilojen kalustuksen tuoma äänenvaimentuminen. [5, s. 2.]

5.6 Sähköistys ja ohjaus

LVI-työselostuksessa ja/tai urakkarajaliitteessä on mainittu, kenen hankintaan ilmastointikoneita palvelevat taajuusmuuttajat kuuluvat. Tyypillisesti ilmastointikoneita palvelevien taajuusmuuttajien hankinnat kuuluvat ilmanvaihtotöihin. LVI-työselostuksessa on määritetty mm. taajuusmuuttajien ulosottovirta, kaapeliläpiviennin tiiveysluokka ja väyläliitännän protokolla. Lisäksi työselostuksessa on määritetty muita yleisiä sekä kohteen erityispiirteitä edellyttäviä ominaisuuksia ja vaatimuksia, jotka tulee tarkasti käydä läpi hankinnan yhteydessä.

Ilmanvaihtolaitoksen sähköistykseen vaikuttaa järjestelmän toimituksen sisältö. Yhtenä vaihtoehtona on, että IV-koneen toimitus kuuluu ilmanvaihtourakkaan, automaatiolaitteiden toimitus rakennusautomaatiourakkaan ja sähköurakkaan kuuluu koneiden ryhmäkeskusten toimitus. Kaapelointi- ja kytkentävastuu voi vaihdella urakasta riippuen. Toisena vaihtoehtona ovat pakettitoimitukset, jolloin IV-koneet toimitetaan tehtaalta omalla ryhmäkeskuksella varustettuna. Ryhmäkeskus pitää sisällään kaikki koneen tarvitsemat sähkölaitteet, ja rakennusautomaatiolaitteet voivat olla sijoitettuna ryhmäkeskukseen omana lohkonaan. [4, s. 312.] Pakettiratkaisut ovat usein hyvä valinta, jos tulo- ja poistoilmakoneet ovat sijoitettuna samaan tilaan. Jos koneet on jouduttu sijoittamaan erilleen toisistaan, käytetään tavallisesti ensimmäisenä esitettyä toimintamallia.

6 Ekologisen suunnittelun vaatimukset

Ilmanvaihtokoneiden käytönaikainen energiakulutus on merkittävä ympäristönäkökohta, johon liittyy energiansäästömahdollisuuksia. Euroopan unioni on asettanut ekosuunnitteluvaatimukset, jotka osaltaan koskevat ilmanvaihtokoneiden käytönaikaista energiankulutusta. Vaatimukset astuvat voimaan vaiheittain, ja ensimmäinen on ollut käytössä jo 1.1.2016 alkaen, ja seuraava tulee astumaan voimaan 1.1.2018. Nämä ns. välivaiheet perustuvat vuoden 2020 tavoitteisiin, joiden on tarkoitus vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 %, nostaa uusiutuvien energialähteiden käyttöä 20 % ja parantaa rakennusten energiatehokkuutta 20 %.

Asuinrakennuksiin tarkoitettujen ilmastovaihtokoneiden energiatehokkuus tulee määrittää SEC-luvun avulla. Ominaisenergiankulutus (specific energy consumption, SEC) on laskennallinen arvo, joka toimii ominaisenergiatehokkuuden mittarina. SEC-luku kuvaa energiankulutusta suhteutettuna esimerkiksi tuotannon määrään tai palveltavaan pinta-alaan. Toisin sanoen, kun on kyse ilmanvaihtojärjestelmästä, SEC-luku kuvaa ilmanvaihtokoneen kuluttamaa energian määrää yhtä lämmitettävää lattianeliötä kohden vuodessa (kWh/a, m^2). SEC-luvun laskennassa käytetään keskimääräistä ilmastoa, jossa sisä- ja ulkoilman lämpötilaero on 13 °C. Taulukossa 5 on esitetty SEC-luokat asuinrakennusten ilmanvaihtokoneille, jotka on laskettu keskimääräisten ilmasto-olosuhteiden perusteella.

Taulukko 5. Asuinrakennusten ilmanvaihtokoneiden SEC-luokat [11].

SEC-luokka	SEC ilmaistuna kWh/a.m^2
A+ (energiatehokkain)	$\text{SEC} < -42$
A	$-42 \leq \text{SEC} < -34$
B	$-34 \leq \text{SEC} < -26$
C	$-26 \leq \text{SEC} < -23$
D	$-23 \leq \text{SEC} < -20$
E	$-20 \leq \text{SEC} < -10$
F	$-10 \leq \text{SEC} < 0$
G (energiatehottomin)	$0 \leq \text{SEC}$

Asuinrakennuksia koskevat vaatimukset ilmanvaihtokoneille:

1.1.2016 alkaen:

- Ominaisenergiakulutus (SEC) ei saa olla enempää kuin 0 kWh/a, m^2 . Tämä tarkoittaa sitä, että ilmanvaihtokoneen energialuokka on G.
- Enimmäisäänitaso saa olla enintään 45 dB.
- Kaksivirtaisissa (tulo/poisto) ilmanvaihtokoneissa on oltava lämpötekkinen ohitus mahdollisuus.

1.1.2018 alkaen:

- Ominaisenergiakulutus (SEC) ei saa olla enempää kuin -20 kWh/a, m^2 . Tällöin ilmanvaihtokoneen energialuokka on vähintään D.
- Enimmäisäänitaso saa olla enintään 40 dB.
- Ilmanvaihtokoneissa joissa on suodatin, täytyy olla suodattimen vaihtotarpeen ilmoittava visuaalinen ilmaisin.

Muita rakennuksia koskevat vaatimukset ilmanvaihtokoneille:

Euroopan unionin direktiivi on asettanut ekosuunnitteluvaatimuksen koskemaan muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettuja ilmanvaihtokoneita. Vaatimuksen mukaan 1. päivästä tammikuuta 2016 alkaen on kaikkien kaksi-ilmavirtaisten nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen oltava vähintään 63 %. Muiden lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen on oltava 67 %. Vuonna 2018 vaatimukset tulevat kiristymään entisestään, ja vastaavat vähimmäisarvot tulevat olemaan nestekiertoisessa järjestelmässä 68 % ja muissa järjestelmissä 73 %.

Ilmanvaihtokoneen sisäinen enimmäisominaissähköteho SFP_{int} W/(m^3/s) lasketaan ja tullaan laskemaan seuraavasti:

- 2016, nestekiertoinen järjestelmä $1400 + E + F$, jos $q_v \leq 2,0 \text{ m}^3/s$
- 2016, muut järjestelmät $900 + E + F$, jos $q_v \leq 2,0 \text{ m}^3/s$
- 2018, nestekiertoinen järjestelmä $1300 + E + F$, jos $q_v \leq 2,0 \text{ m}^3/s$
- 2018, muut järjestelmät $800 + E + F$, jos $q_v \leq 2,0 \text{ m}^3/s$

Hyötysuhdebonus (E) tarkoittaa ominaissähkötehon korjausta, jossa otetaan huomioon se, että tehokkaampi LTO aiheuttaa enemmän painehäviötä, mikä taas edellyttää suurempaa puhaltimen ominaissähkötehoa. $E = (\eta_{t_nrvu} - \text{lämpötilahyötysuhdekerroin}) \times 3000$, jossa η_{t_nrvu} on todellinen lämpötilanhyötysuhde, ja lämpötilahyötysuhde on prosenttikerroinmuodossa esim. 0,68 tai 0,73. Suodatinkorjaus (F) on käytännössä aina nolla, jos käytetään vaadittuja suodattimia. Edellä esitettyä laskentamallia sovelletaan vain yksittäisen koneen SFP-luvun laskentaan. Koko rakennuksen SFP-luku lasketaan edelleen luvussa 5.4 esitetyllä tavalla.

Muilta osin EU:ssa on olemassa vain yhteisymmärrys, että rakentamismääräykset tulevat kiristymään tulevien vuosien aikana vastaamaan Pariisin ilmastokokouksessa hyväksyttyyn ja EU:ssa 5.10.2016 ratifioituun ilmastopaperiin.

SRV Rakennus Oy:n projektipäällikkö Jyrki Suhonen on tehnyt tutkimusta ja laskelmia liittyen tiukentuneisiin ekologisen suunnittelun vaatimuksiin muiden kuin asuinrakennusten kannalta. Asetuksista johdettujen laskelmien perusteella LTO-roottoreiden käyttö on perusteltua jatkossakin hyvän lämpötilasuhteen ansiosta. Nestekiertoisten kaksitoimisten ilmanvaihtokoneiden koko tulee asetusten myötä kasvamaan. Lisäksi ristivirtalevyylämmönsiirtimien lämpötilasuhte ei tule riittämään, ja vastavirtalevyylämmönsiirtimillä varustetut koneet tulevat kasvamaan kohtuuttoman suuriksi. [11.]

7 Yhteenveto

Laitehankintojen kehittäminen ja tehostaminen on tärkeää, jotta pystytään jatkossa toimimaan kustannustehokkaasti, sekä tekemään järkeviä hankintoja. Tärkeänä osana kustannustehokasta toimintaa on laitteiden tarkka mutta tehokas vertailu. Koneiden vertailu on aikaa vievää työtä, mutta sen merkitys on suuri hankinta- ja käyttökustannusten kannalta. Excel-pohjaisen vertailutyökalun tavoitteena on tehostaa ja selkeyttää koneiden vertailua. Vertailutyökalua ei ole vielä testattu todellisessa vertailutilanteessa, joten sitä tullaan mahdollisesti vielä kehittämään niiltä osin kuin tarpeelliseksi tullaan katsomaan.

Suunnittelun laadun merkitystä ei voi ikinä korostaa liikaa. Huolella tehdyt suunnitelmat ja johdonmukainen suunnittelun ohjaus ovat avain asemassa laadukkaan ja kustannustehokkaan lopputuloksen saamisessa. Tarkat suunnitteluarvot ja linjavedot sisäilmatavoitteissa mahdollistavat mutkattoman hankintaprosessin läpiviennin ja kaikkia osapuolia tyydyttävän lopputuotteen.

Jatkuvasti tiukentuvan kilpailun ja kiristyvien energiamääräysten valossa, osaava ja ammattitaitoinen henkilökunta on avainasemassa menestykseen. Ammatillisen osaamisen on vastattava nykypäivän vaatimuksia, ja jokaisen on oltava hereillä jo ennakoon jatkuvasti kehittyvällä alalla.

Työ antaa mielestäni hyvän peruskäsityksen hankintaprosessin etenemisestä sekä teknisten suoritusarvojen merkityksestä toimivassa ilmankäsittelyjärjestelmässä. Täytyy kuitenkin muistaa, että tämä opinnäytetyö ja liitteenä oleva työkalu eivät ole täysin aukottomia. Jokaisella hankkeella ja kohteella on omat ominais- ja erityispiirteensä, jotka tulee huomioida hankintoja tehdessä. Näillä ohjeilla pystytään kuitenkin varmistamaan, että oleelliset ominaisuudet tulee huomioitua vertailua tehtäessä.

8 Excel-vertailutyökalun käyttö

Opinnäytetyön tuotteena laadin excel-pohjaisen tarkastuspöytäkirjan tulo- ja poistokoneiden suunnitelmien mukaisuuden varmentamiseen. Pöytäkirja toimii tarkastuslistana, sekä sitä voidaan käyttää eteenpäin lähetettävänä hyväksyttämismateriaalina rakennuttajalle. Excelissä on oma välilehti kansilehdelle ja jokiselle kohteen ilmankäsittelykoneelle. Pöytäkirjaan täytetään omalle vasemmanpuoleiselle pystysarakkeelle suunnitellut arvot ja oikeanpuoleiseen pystysarakkeeseen esitettävän koneen arvot. Soluihin on sisällytetty värikoodit, jotka kuvaavat arvojen sopivuutta suhteessa suunniteltuihin arvoihin. Vihreä väri tarkoittaa hyväksyttyä lukuarvoa, keltainen vaatii tarkastamista ja punainen väri viestii koneosan sopimattomuudesta kyseisillä suunnitteluvaatimuksilla.


Pöytäkirjaan on kasattu keskeisimmät ja kriittisimmät suunnitteluarvot, jotka tulee aina tarkistaa koneiden hankinnan yhteydessä. Lista ei aivan kaikkea voi huomioida, mutta sen pitäisi olla riittävä toimivan kokonaisuuden aikaansaamiseksi. Listan lähtökohtana oli tärkeätä saada jokainen kone mahtumaan omalle tulostusalueelle helppolukuisuuden takaamiseksi. Kansilehteen on kerätty kohteen tiedot, ja Excel laskee siihen automaattisesti mm. kohteen SFP-luvun. Värikoodien kanssa joudutaan varmasti tekemään vielä hienosäätöä jatkossa, kun on tehty tarpeeksi monta koeajoa tällä pöytäkirjalla. Liitteessä 2 on havainnollistava kuva tarkastuspöytäkirjasta.

Lähteet


- 1 SRV Rakennus Oy. 2016. Verkkodokumentti. <https://www.srv.fi/srv-yhtiona/srv-yhtiona>. Luettu 18.10.2016.
- 2 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut.
- 3 Sisäilmaluokitus 2008: sisäympäristön tavoitearvo, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. LVI 05-10440. Espoo: Sisäilmayhdistys.
- 4 Heinonen, Jarkko. Sandberg, Esa (toim.). 2014 Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: perustietoa ilmastointiteknikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.
- 5 Ilmanvaihtolaitteiden äänitekniinen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksissa. LVI 30–10333. ohjetiedosto maaliskuu 2002. © Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto.
- 6 Talotekniikka RYL. 2002. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset osa 1. RTS. LVI-Keskusliitto ry. Sähkötieto ry.
- 7 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 8 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. ohjeet helmikuu 2010. LVI 38–10454. © Rakennustietosäätiö RTS.
- 9 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. ohjeet maaliskuu 2013. LVI 30–10529. © Rakennustietosäätiö RTS.
- 11 Suhonen Jyrki. 2015. Ilmanvaihdon ekologisen suunnittelun vaatimukset. SRV:n sisäinen esitysmateriaali.

Liite 1. Tarjouspyyntömalli

TARJOUSPYYNTÖ		Sivu 1/2
pp.kk.vvvv		
Projekti: xxx		
Ilmanvaihtokoneet		
Työmaan osoite	xxx	
Pyydämme tarjoustanne ko. rakennuskohteen ilmanvaihtokoneista liitteenä olevien suunnitelmien mukaisesti.		
Hinta	Tarjoajan tulee antaa hinta eriteltynä seuraavasti:	
	Määrä	Hinta
Ilmanvaihtokoneet konekohtaisesti		
Suodattimet 2 sarjaa		
Takuuajan huoltotyöt		
Kaikki hinnat alv 0 %.		
Tarjouksen tulee sisältää		
<ul style="list-style-type: none">- Ilmanvaihtokoneiden hintaerittelyn konekohtaisesti- Kaikkien toimitukseen kuuluvien suodattimien varasarja (erillistoimitus myöhemmin sovittuna ajankohtana)- tarjoukseen tulee sisältyä koneiden toimitus työmaalle vakuutuksineen- toimitukseen tulee sisältyä huoltokirjan aineisto sähköisenä, luovutus-aineisto ja käytönopastus- takuu aika määräaikaishuoltoineen 2 vuotta alkaen kohteen luovutuksesta- koneiden käyttöönotto, hinta eriteltynä		
Maksuehto	30 päivää netto, yliaikakorko korkolain mukaan	
Sopimusehto	Yleiset Hankinta- ja toimitusehdot RYHT 2000	
Toimitusaika	kk / a	
Tilaa javastuulaki	Tarjoajan tulee olla, viimeistään sopimusvaiheessa, liittynyt sähköisiin viranomaisdokumenttien hallintapalveluun (tilaajavastuu.fi, tms.).	
Takuu aika	Takuu alkaa kohteen valmistumisen vastaanotosta ja päättyy 24 kk kuluttua koko kohteen valmistumisesta. Kohde valmistuu pp.kk.vvvv	
Tiedustelut	Laskentaa koskevat tiedustelut: xxx	



SRV
Elämäsi rakentaja



2 (2)

Tarjous

Tarjouksenne pyydämme toimittamaan pp.kk.vvvv klo xx.xx mennessä sähköpostilla osoitteisiin xxx@srv.fi

Tarjouksen tulee olla voimassa pp.kk.vvvv saakka.

Ystävällisin terveisin

SRV Rakennus Oy

XXXX

Liitteet

xxx Oy:n suunnitelmat:

iv-konehuonekuva

xxx

Säätökaaviot

xxx

LVI laiteluettelot

xxx

LVIÄ-järjestelmäselostus

xxx



Liite 2. Excel-vertailutyökalu

		Suunniteltu kone		Esitettävä kone					
		Merkki		Merkki					
		Malli ja Konetunnus		Malli ja Konetunnus					
Tekniset suoritusarvot									
1.	SFP-Luku kW/(m³/s)	1,9		1,8					
2.	LTO:n vuosihyötysuhde(%)	75		76					
3.	Äänen tehotaso dB(A)	65		64					
		Tulokone (+)	Poistokone (-)	Tulokone (+)	Poistokone (-)				
4.	Ilmavirta (m³/s)	6,5	5,5	6,5	5,5				
5.	Paine-ero (Pa)	200	170	196	169				
6.	Poistoilman lämpötila °C	20		20					
Puhaltimen sähköistys									
7.	Liitäntäteho (kW)	15	15	14	14				
8.	Syöttöjännite (V)	3x400	3x400	3x400	3x400				
Puhallinmoottori		Tulokone	Poistokone	Tulokone	Poistokone				
9.	IEC	ei	ei		kyllä				
10.	EC	kyllä	kyllä	kyllä					
11.	PM	ei	ei						
Koneen fyysiset mitat		Tulokone	Poistokone	Tulokone	Poistokone				
12.	Pituus (mm)	6000	5500	5800	5700				
13.	Leveys (mm)	1500	1500	1550	1550				
14.	Korkeus (mm)	1200	1100	1100	1100				
Suodatin		Luokka / ΔP		Luokka / ΔP		Luokka / ΔP			
15.	Esisuodatin	G3	150	-	-	G3	150	-	-
16.	Pääsuodatin	F7	150	F5	150	F7	145	F5	145
17.	Suodattimet vakiokokoa	kyllä		kyllä		kyllä		ei	
Lämmönsiirtimet		Neste °C ΔT		Neste ΔP		Neste °C ΔT		Neste ΔP	
		Ilma °C ΔT		Ilma ΔP		Ilma °C ΔT		Ilma ΔP	
		Otsapinta m/s		Lamelliväli (mm)		Otsapinta m/s		Lamelliväli (mm)	
18.	Esilämmityspatteri								
19.									
20.									
21.	Poistoilman talteenotto LTO-roottori	-	-	-		-	-	-	
22.		-29	12	95		-29	11	95	
23.		-		-		-		-	
24.	Nestekiertoinen LTO-patteri								
25.									
26.									
27.	Lämmityspatteri	60	40	2500		60	40	2400	
28.		5	20	35		6	19	35	
29.		2,1		2		2,1		2	
30.	Jäähdytyspatteri	7	12	8500		7	12	8478	
31.		26	14	117		26	15	115	
32.		2,2		2		2,1		2	
33.	Jälkilämmityspatteri								
34.									
35.									